



DEUTSCHES  
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 39 05 303.2-33  
22 Anmeldetag: 21. 2. 89  
43 Offenlegungstag: 31. 8. 89  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 4. 7. 96

DE 39 05 303 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

30 Unionspriorität: 32 33 31  
24.02.88 JP 63-39384

73 Patentinhaber:  
Hitachi, Ltd., Tokio/Tokyo, JP

74 Vertreter:  
Strehl, Schübel-Hopf, Groening & Partner, 80538  
München

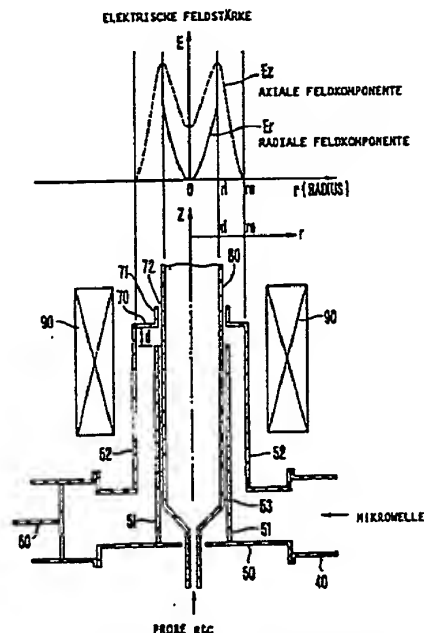
72 Erfinder:  
Okamoto, Yukio, Sagami, JP

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:  
DE 25 48 220 C2  
EP 01 97 849 A1  
J.Phys. D.: Appl. Phys., Bd. 20 (1987), S. 197-203;  
J.Phys. D.: Appl. Phys., Bd. 12 (1979), S. 219-237;  
Hg. H. Meinke u. F.W. Gundlach »Taschenbuch der

Hochfrequenztechnik« Springer-Verlag Berlin  
(1982), S. 418-422;  
Om P. Gandhi: »Microwaves - Engineering and  
Application« Verl. Pergamon Press, New York (1981),  
S. 178-177;  
»The Review of Scientific Instruments«, Bd. 36, Nr. 3,  
März 1965, S. 294-298;  
»IEEE Transactions on Plasma Science«, Bd. PS-3,  
Nr. 2, Juni 1975, S. 55-59;  
»The Review of Scientific Instruments«, Bd. 39, Nr. 3,  
März 1968, S. 295-297;  
»The Review of Scientific Instruments«, Bd. 41,  
Nr. 10, Oktober 1970, S. 1431-1433;  
»Japanese Journal of Applied Physics«, Bd. 16,  
Nr. 11, November 1977, S. 1993-1998;

54 Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas durch Mikrowellen

57 Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas durch Mikrowellen, umfassend einen koaxialen Wellenleiter-Abschnitt mit einem zylindrischen Außenleiter (52) und einem zylindrischen Innenleiter (51), einen Rechteck-Hohlleiter (40, 50) zur Zuführung der Mikrowellenenergie an den koaxialen Wellenleiter-Abschnitt, eine am Außenleiter (52) angeordnete metallische Endplatte (70), die von einem Ende des Innenleiters (51) durch einen axialen Spalt (d) getrennt ist, in dem von der zugeführten Mikrowellenenergie ein elektrisches Mikrowellenfeld einer Oberflächenwelle erzeugt wird, und eine Entladungsröhre (80) im Innern des Innenleiters (51), die sich durch eine Öffnung (72) der Endplatte hindurch erstreckt und in der das Plasma durch das in dem Zwischenraum (d) gebildete elektrische Mikrowellenfeld erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Rechteck-Hohlleiter (40, 50) zur Einkoppelung der Mikrowellenenergie unter Modenumwandlung in den koaxialen Wellenleiter-Abschnitt (51, 52) mit dessen einem Ende verbunden ist, während die metallische Endplatte (70) an dem anderen Ende des koaxialen Wellenleiter-Abschnitts vorgesehen ist, so daß die Mikrowellenenergie an diesem anderen Ende durch den axialen Spalt (d) auf das Plasma übertragen wird.



DE 39 05 303 C 2

Die Erfindung betrifft Vorrichtungen zum Erzeugen eines Plasmas wie für Plasmareaktoren zum Ätzen, Abscheiden und dergleichen, Plasma-Massenspektrometer zur quantitativen Analyse von Elementen und ähnlichem, wobei zur Erzeugung des Plasmas geeignete Mikrowellen verwendet werden.

Vorrichtungen zum Erzeugen eines Plasmas durch Mikrowellen sind unter anderem in den folgenden Literaturstellen beschrieben:

- (1) "The Review of Scientific Instruments", Band 36, Nr. 3, März 1965, Seiten 294 bis 298;
- (2) "IEEE Transactions on Plasma Science"; Band PS-3, Nr. 2, Juni 1975, Seiten 55 bis 59;
- (3) "The Review of Scientific Instruments", Band 39, Nr. 3, März 1968, Seiten 295 bis 297;
- (4) "The Review of Scientific Instruments", Band 41, Nr. 10, Oktober 1970, Seiten 1431 bis 1433;
- (5) "Japanese Journal of Applied Physics", Band 16, Nr. 11, November 1977, Seiten 1993 bis 1998.

Bei den aus den Literaturstellen (1) bis (3) bekannten Vorrichtungen wird zum Übertragen der Mikrowellenleistung ein Koaxialkabel verwendet. Dadurch können jedoch keine großen Leistungen übertragen werden, und es ist nicht ersichtlich, wie ein Plasma hoher Dichte und mit großem Durchmesser erzeugt werden soll, das im Falle großer Leistung stabil ist. Bei den aus den Literaturstellen (4) und (5) bekannten Vorrichtungen werden die Punkte der wirksamen Ausnutzung der Mikrowellenleistung, der radialen Verteilung des Plasmas und dergleichen nicht genügend beachtet, so daß die Produktivität der Vorrichtung und die Gleichförmigkeit des Plasmas ungenügend ist.

Vorrichtungen zur Erzeugung eines Plasmas, bei denen Mikrowellenenergie über einen Wellenleiter zugeführt wird, sind ferner in J. Phys. D: Appl. Phys. 20 (1987) 197—203, von der der Oberbegriff des Anspruchs 1 ausgeht, und in EP-A-197 843 offenbart. Bei diesen wird die Mikrowellenenergie von einem rechteckigen Wellenleiter über einen Spalt direkt in das Plasma eingekoppelt.

Vorrichtungen mit Zuführung von Mikrowellenenergie über ein Koaxialkabel in einen zylindrischen Resonator und Einkoppelung in ein Plasma über Schlitze in dem Resonator sind in J. Phys. D: Appl. Phys. 12, 1979, 219—237 und DE-C-25 48 220 angegeben.

Schließlich stellen Meinke, Gundlach: Taschenbuch der Hochfrequenztechnik, 2. Auflage, 1962, Seiten 418—423 sowie Ghandi: Microwave Engineering and Applications, 1981, Seiten 176—177, Grundlagen der Koppelung von rechteckigen Wellenleitern mit koaxialen Kabeln dar.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma durch Mikrowellen zu schaffen, mit der über einen großen Durchmesser ein stabiles Plasma hoher Temperatur und hoher Dichte auch bei hohem Druck wirkungsvoll erzeugt werden kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im Patentanspruch 1 beschriebene Vorrichtung gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen dieser Vorrichtung sind in den Ansprüchen 2 und 3 beschrieben.

Ausführungsbeispiele für die Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas werden im folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1A die Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Vorrichtung, wie sie in der Fig. 1B dargestellt ist,

Fig. 1B die Anordnung der wesentlichen Teile einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas durch Mikrowellen,

Fig. 2 den Aufbau einer Ausführungsform, die als Plasmareaktor dienen kann,

Fig. 3 den Aufbau einer Ausführungsform, die als Ionquelle dienen kann,

Fig. 4 ein Blockschaltbild für eine Ausführungsform, die ein Analysegerät darstellt, und

Fig. 5 im Detail die Einrichtung zur Erzeugung des Plasmas durch Mikrowellen für das Analysegerät der Fig. 4.

Bei der in der Fig. 1B gezeigten Ausführungsform einer Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma ist der Mikrowellenkreis derart aufgebaut, daß die Modenumwandlung von einem flachen (rechteckförmigen) Wellenleiter 40 auf einen kreisförmigen koaxialen Wellenleiter erfolgt. Der Außenleiter 52 des kreisförmigen koaxialen Wellenleiters ist länger als der Innenleiter 51. Eine metallische Endplatte 70 mit einer Öffnung 72, deren Innendurchmesser nahezu gleich dem Durchmesser eines Zylinders 53 im Innenleiter 51 ist, ist am zylindrischen Außenleiter 52 an einer Stelle angeordnet, die zum vorderen Ende des zylindrischen Innenleiters 51 einen axialen Spalt oder Zwischenraum  $d$  aufweist. An der Innenseite des Zylinders 53 erstreckt sich wenigstens im Bereich des Innenleiters 51 und durch die Öffnung 72 hindurch eine Entladungsröhre 80. Durch Erzeugen eines Plasmas in der Entladungsröhre 80 mittels eines elektrischen Mikrowellenfeldes (einer Oberflächenwelle), das bzw. die im Bereich des Zwischenraumes  $d$  zwischen der Endplatte 70 und dem Innenleiter 51 gebildet wird, kann in einem relativ großen Volumen ein stabiles Plasma hoher Temperatur und hoher Dichte erzeugt werden.

Wenn eine Mikrowelle von einem Mikrowellengenerator durch den flachen (rechteckförmigen) Wellenleiter zu dem kreisförmigen koaxialen Wellenleiter übertragen wird, kann dem Plasma ohne Verwendung eines Koaxialkabels eine große Leistung mit wenig Verlust stabil zugeführt werden. In dem Zwischenraum zwischen dem vorderen Ende des Innenleiters 51 und der metallischen Endplatte 70 wird ein elektrisches Feld mit einer axialen Feldkomponente  $E_z$  und einer radialen Komponente  $E_r$ , wie in der Fig. 1A gezeigt erzeugt, das heißt, daß im Bereich des Zwischenraumes  $d$  eine Oberflächenwelle ausgebildet wird. Es kann daher ein stabiles Plasma hoher Temperatur und hoher Dichte und mit einem Durchmesser, der dem Durchmesser der Entladungsröhre 80 entspricht, effizient erzeugt werden, wobei verschiedene Arten von Gasen im Druckbereich von geringem Druck bis zum Atmosphärendruck verwendet werden können.

In der Fig. 1B ist somit der wesentliche Teil eines Mikrowellenkreises einer ersten Ausführungsform der Vorrichtung zum Erzeugen eines Plasmas dargestellt. Die Fig. 1A zeigt die Verteilung der elektrischen Feldstärke der Mikrowelle bei der Vorrichtung der Fig. 1B. Die Mikrowelle wird von dem flachen (rechteckförmigen) Wellenleiter 40 zu dem zylindrischen koaxialen Wellenleiter-Transformer mit wenigstens dem Innenleiter 51 und dem zylindrischen Außenleiter 52 übertragen und als Oberflächenwelle von einem Plasma in der isolierenden Entladungsröhre 80 absorbiert, die aus Quarzglas oder dergleichen besteht und innerhalb des zylindrischen Innenleiters 51 angeordnet ist, der an seinem Ende den Zwischenraum  $d$  aufweist. Die Größe  $d$  bezeichnet den Abstand zwischen dem Rand oder Ende

des Innenleiters 51 und der metallischen Endplatte 70 am zylindrischen Außenleiter 52, der Abstand  $d$  kann mittels einer Schraube, einem Zwischenstück oder dergleichen verändert werden. Die Öffnung 72 in der Endplatte 70 hat einen Innendurchmesser, der im wesentlichen gleich dem Durchmesser des Zylinders 53 für den Innenleiter 51 ist. Durch Anbringen einer metallischen Drossel oder eines Ansatzes 71 kann der Mikrowellenverlust verringert werden. Der Innen- und/oder der Außenleiter kann mit Luft oder Wasser zwangsgeköhlt werden. Die Durchmesser des Innen- und des Außenleiters 51 bzw. 52 und der Entladungsröhre können entsprechend den Erfordernissen beliebig gewählt werden. Da der Wellenwiderstand des Koaxialkreises gewöhnlich auf 50 Ohm eingestellt wird, um eine wirksame Absorption der Mikrowelle im Plasma zu erreichen, wird vorzugsweise die E-Ebene des rechteckigen Wellenleiterabschnittes (50) des zylindrischen koaxialen Wellenleiter-Transformers kleiner (dünner) als das reguläre Maß gewählt, wodurch das Verhältnis zur H-Ebene verringert wird, der Wellenwiderstand des Wellenleiters herabgesetzt ist und ein 1/4-Wellenlängentransformer an der Eingangsseite des Wellenleiters entsteht, so daß der Wellenwiderstand des Wellenleiters mit dem des koaxialen Teiles zusammenfällt. Es ist des weiteren günstig, die Form des Innenleiters 51 knopfartig (ab"door-knob") zu wählen, wie es in der Fig. 5 gezeigt ist, wobei das Maß eines Nebenschlußteiles auf den regulären Wert eingestellt ist. Darüber hinaus ist ein Kurzschlußkolben 60 (variabler Art) vorgesehen, durch den eine Anpassung ausgeführt werden kann.

Außerhalb des Außenleiters 52 ist ein Magnetfeldgenerator 90 (mit einer Spule, einem Permanentmagneten oder dergleichen) angeordnet. Das Plasma wird dadurch erzeugt, daß ein divergentes Magnetfeld, ein Magnetfeld mit mehreren Maxima, ein Spiegel-Magnetfeld oder ähnlich unter den Bedingungen für eine Elektronenzyklotronresonanz überlagert wird. Damit kann dem Plasma hoher Temperatur und hoher Dichte (der Grenzdicke oder höher) auch bei geringem Druck erhalten werden (es ist selbstverständlich nicht immer erforderlich, das Magnetfeld anzulegen).

Als Plasmagas wird ein geeignetes Gas, etwa  $H_2$ , He,  $O_2$ ,  $N_2$ , Ar, Xe,  $CH_4$ ,  $SiH_4$ ,  $NH_3$ ,  $CF_4$ ,  $SiF_4$  usw. gemäß den vorliegenden Erfordernissen gewählt und unter einem Druck im Bereich von etwa  $1,3 \times 10^{-4}$  Pa ( $10^{-6}$  Torr) bis  $10^5$  Pa (760 Torr) eingebracht. Es ist günstig, ein Probegas von einem Ende der Entladungsröhre 80 her einzubringen, wie es beispielsweise in der Fig. 1B gezeigt ist. Je nach den vorliegenden Erfordernissen kann jedoch auch etwas anderes vorgesehen werden.

Die Fig. 1A zeigt die Verteilung der radialen Komponente  $E_r$  und der axialen Komponente  $E_z$  in der Richtung der z-Achse (in axialer Richtung) der elektrischen Feldstärke im Bereich des Zwischenraumes  $d$ . Ein Merkmal der beschriebenen Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma liegt darin, daß das elektrische Feld zu einer Oberflächenwelle wird, bei der sowohl die  $E_r$ - als auch die  $E_z$ -Komponente vorhanden sind, beide Komponenten entlang der z-Achse schwach sind und im Gegensatz dazu das elektrische Feld an der Außenseite groß ist, wobei dieses elektrische Feld bewirkt, daß ein Plasma erhalten wird, das für niedrige Drücke aufgrund der doppelten Effekte dieser Komponenten und einer Diffusion der Gastteilchen in radialer Richtung gleichförmig ist. Andererseits wird bei hohem Druck, wie bei den Ausführungsformen der Fig. 4 und 5, ein ringförmiges (toroidalförmiges) Plasma erhalten. Der Druck wird

jeweils in Übereinstimmung mit den vorliegenden Erfordernissen gewählt.

Die Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm einer zweiten Ausführungsform der Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas für den Fall, daß die in der Fig. 1B gezeigte Vorrichtung für einen Plasmareaktor zum Ätzen, Abscheiden, Herstellen neuer Materialien und dergleichen verwendet wird. Das Bezugszeichen 10 bezeichnet dabei ein Hochspannungsnetzteil (Gleichstrom oder Impuls); 20 einen Mikrowellengenerator (Magnetron oder Gyrotron, 1 bis 100 GHz, 10 bis 5000 W); 30 ein Trennglied (oder Einwegleiter); 40 den Mikrowellenkreis (mit einem Stabuner, einem Richtungskoppler, einem Leistungsmeßgerät, einem E-H-Tuner usw.); 51 den Innenleiter; 52 den zylindrischen Außenleiter; 60 den Kurzschlußkolben; 70 die metallische Endplatte; 80 die Entladungsröhre; 90 den Magnetfeldgenerator (es ist nicht immer erforderlich, den Generator 90 vorzusehen); 100 eine Evakuierungsvorrichtung wie zum Beispiel eine Vakuumpumpe; 110 eine Zuführungsvorrichtung (einen Injektor) für das Plasmagas (wie Ar, He,  $O_2$  usw.) und 120 eine Zuführungsvorrichtung (einen Injektor) für ein Reaktionsgas (wie  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $CF_4$ ,  $SiF_4$ ,  $O_2$  usw.); 130 eine Reaktionskammer; 140 einen Probenhalter (beispielsweise für eine Halbleiterscheibe); 150 einen Temperaturregler (mit einem Kühler oder einer Heizvorrichtung oder dergleichen); 160 eine Zuführungsvorrichtung (einen Injektor) für Reaktionsteilchen (zum Beispiel werden beim Ausbilden eines dünnen, bei hohen Temperaturen supraleitenden Filmes  $BaCO_3 + Y_2O_3 + CuO$  durch einen Elektronenstrahl verdampft, und die sich ergebenden kleinen Teilchen werden zugeführt); 170 einen Massenspektrometer; 180 ein Spektrometer und 190 einen Rechner zum automatischen Steuern und das Optimieren der Vorgänge in der Vorrichtung. Beispielsweise bestimmt der Rechner 190 die erforderlichen Daten. Bei dieser Ausführungsform kann der Zwischenraum  $d$  durch Verschieben der beweglichen Endplatte 70 mittels einer Schraube, eines Zwischenstückes oder dergleichen verändert werden. Der Durchmesser des Innenleiters 51 ist im Bereich des knopfartigen koaxialen Transformators sehr groß.

Mit diesem Aufbau kann, wenn beispielsweise ein bei hohen Temperaturen supraleitender dünner Oxidfilm auszubilden ist, Sauerstoff ( $O_2$ ) als Plasmagas bei einem niedrigen Druck ( $1,3 \times 10^{-2}$  Pa gleich etwa  $10^{-4}$  Torr oder weniger) ionisiert werden. Das Radikal oder die Sauerstoffionen geringer Energie, die dabei erzeugt werden, und die Metallatome von z. B. Ba, Y oder Cu, die als Reaktionsteilchen 160 zugeführt werden, reagieren physikalisch und chemisch. Auf dem Substrat auf dem Probenhalter 140 kann damit bei niedriger Temperatur und in kurzer Zeit ein Film guter Qualität abgeschieden werden, wobei eine Optimierung mittels des Rechners 190 erfolgt.

Die Fig. 3 zeigt eine dritte Ausführungsform der Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas. Die dritte Ausführungsform stellt eine Vorrichtung zum Extrahieren von Ionen oder neutralen Teilchen aus dem Plasma und zur Oberflächenbearbeitung und Behandlung eines Materials dar. In der Zeichnung bezeichnet 50 wieder den zum zylindrischen koaxialen Wellenleiter-Transformer gehörendem rechteckigen Wellenleiterabschnitt; 51 den Innenleiter; 52 den zylindrischen Außenleiter; 60 den Kurzschlußkolben; 70 die metallische Endplatte (die verändert werden kann); 71 die metallische Drossel bzw. den Ansatz; 80 die Entladungsröhre; 90 den Magnetfeldgenerator (der nicht immer vorgesehen werden muß);

100 die Vakuumpumpe; 110 die Zuführvorrichtung für ein Probegas, ein Trägergas oder dergleichen; 120 die Zuführvorrichtung für ein Probegas, ein Reaktionsgas oder dergleichen; 130 die Reaktionskammer; 140 den Probenhalter; 150 den Temperaturregler; 180 das Spektrometer und 200 eine Vorrichtung (Extraktor) zum Herausführen eines Strahles (eines Ionenstrahles etc.). Die Vorrichtung 200 kann auch zum Herausführen eines Elektronenstrahles oder eines neutralen Strahles (aus Atomen oder Radikalen) vorgesehen sein.

Mit diesem Aufbau kann ein gleichmäßiges Plasma aus einem Probegas oder einem Trägergas mit hoher Dichte über einen großen Durchmesser erzeugt werden. Es läßt sich somit ein gleichmäßiger Ionenstrahl mit großem Durchmesser und hoher Dichte durch die Vorrichtung 200 aus dem Plasma herausführen. Es kann damit eine Oberflächenbehandlung oder Veränderung der Oberfläche des Substrates auf dem Probenhalter 140 in kurzer Zeit und bei niedriger Temperatur ausgeführt werden. Es kann auch durch den Ionenstrahl ein Target zerstäubt werden und das Targetmaterial auf dem Substrat abgeschieden werden. Auch kann eine Oberflächenbehandlung oder dergleichen unter Verwendung von neutralen Teilchen erfolgen.

Die Fig. 4 zeigt den fundamentalen Aufbau einer vierten Ausführungsform, die etwa in der Biologie zur Analyse von Spurenelementen oder dergleichen verwendet werden kann. In der Zeichnung bezeichnet das Bezugszeichen 300 eine Vorrichtung zur Erzeugung von Mikrowellen mit einem Mikrowellengenerator wie einem Magnetron, einem Hochspannungsnetzteil, einem Mikrowellen-Leistungsmeßgerät, einem E-H-Tuner (oder Stabtuner) usw. Das Bezugszeichen 400 bezeichnet eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas durch Mikrowellen, das im wesentlichen auf dem in der Fig. 1B gezeigten Aufbau beruht und den zylindrischen coaxialen Wellenleiter, den Innenleiter, die Endplatte, die Entladungsröhre usw. enthält, wie es in der Fig. 5 gezeigt ist. Das Bezugszeichen 500 bezeichnet eine Vorrichtung zum Zuführen von Gasen wie einem Probegas und einem Trägergas, mit einem Zerstäuber und dergleichen. Das Bezugszeichen 600 bezeichnet eine Vorrichtung zum Messen und Analysieren mit einem Spektrometer, einem Massenanalysator usw. Das Bezugszeichen 700 bezeichnet eine Steuerung mit einem Rechner usw. Die Steuerung 700 führt eine Bestimmung der Daten und eine optimale Steuerung der gesamten Vorrichtung aus. Bei dieser Ausführungsform kann bei einem Betriebsdruck, der im wesentlichen dem Atmosphärendruck entspricht, eine große Leistung stabil zugeführt werden, wobei es ausreicht, wenn die Durchmesser der Entladungsröhre usw. kleiner sind wie bei der zweiten und dritten Ausführungsform.

Die Fig. 5 zeigt die Vorrichtung 400 zur Erzeugung eines Plasmas der Ausführungsform der Fig. 4 im Detail. In der Zeichnung bezeichnet das Bezugszeichen 50 wieder den zum coaxialen Wellenleiter-Transformer gehörenden rechteckigen Wellenleiterabschnitt, der aus Kupfer, Aluminium oder dergleichen besteht und als flacher Wellenleiter ausgebildet ist (die Innenabmessungen sind 8,6 mm × 109,2 mm × 84 mm). Das Bezugszeichen 51 bezeichnet den Innenleiter, der aus Kupfer oder dergleichen besteht (der coaxiale Transformerabschnitt hat beispielsweise die Form eines Kegelstumpfes mit einem Basisdurchmesser von 40 mm, einem kleineren Durchmesser von 15 mm und einer Höhe von 30 mm). Ein zylindrischer Hohlraum 53 (mit einem Durchmesser von z. B. 4 bis 12 mm), in den die Entladungsröhre 80

hineinragt, ist axial im oberen Teil des Innenleiters 51 ausgebildet. Das Bezugszeichen 52 bezeichnet wieder den zylindrischen Außenleiter, der aus Kupfer oder dergleichen besteht. Die scheibenförmige Endplatte 70 aus Kupfer oder dergleichen ist am Außenleiter 52 angebracht. Die Öffnung 72 mit einem Innendurchmesser, der im wesentlichen gleich dem Innendurchmesser des zylindrischen Hohlraumes 53 im Innenleiter 51 ist, ist in der Endplatte 70 vorgesehen. Die Dicke der Endplatte 70 nimmt gegenüber dem äußeren Teil entlang des Umfangs der Öffnung 72 konzentrisch ab (die Dicke ist größer gleich 0,1 mm), das heißt der Rand der Öffnung 72 ist abgeschrägt. Der Zwischenraum d zwischen dem Ende des Innenleiters 51 und der Endplatte 70 kann verstellt werden (beispielsweise auf Werte zwischen 0,5 bis 20 mm durch Verschieben der Endplatte).

Das Bezugszeichen 80 bezeichnet wieder die Entladungsröhre (Innendurchmesser z. B. 4 bis 10 mm) aus Quarzglas oder dergleichen. Ein Ende der Entladungsröhre 80 ist offen und das andere Ende weist eine abzweigende Röhre 81 auf, so daß ein Plasmagas 501 (He, N<sub>2</sub>, Ar usw.) in radialer Richtung zugeführt werden kann. Andererseits ist coaxial zum äußeren Endabschnitt der Entladungsröhre 80 eine innere Röhre 82 aus Quarzglas oder dergleichen vorgesehen. Ein Trägergas (von der gleichen Art wie das Plasmagas 501) wird mittels der Vorrichtung 500 zusammen mit einer Probe über einen (nicht gezeigten) Zerstäuber oder dergleichen über ein Ende der inneren Röhre 82 zugeführt. Das Bezugszeichen 510 bezeichnet einen Kühler zum Kühlen der Entladungsröhre 80 und des Innenleiters 51 usw. Der Kühler 510 wird über eine Kühlmittelzuführung 511 mit einem Kühlmittel 502 (zum Beispiel Luft) versorgt. Bei diesem Aufbau wird nicht nur die Entladungsröhre 80, sondern auch der Innenleiter 51 und die Endplatte 70 wirksam gekühlt. Das Bezugszeichen 800 bezeichnet ein diffuses Plasma und das Bezugszeichen 701 ein ringförmiges heißes Plasma. Form und Größe der Entladungsröhre 80, des Innenleiters 51 usw. sind nicht begrenzt.

Bei dem beschriebenen Aufbau wird die dem coaxialen Wellenleiter-Transformer zugeführte Mikrowellenleistung (zum Beispiel 2,45 GHz, etwa 2 kW) auf den Zwischenraum d zwischen dem Innenleiter 51 und der Endplatte 70 konzentriert, und es wird eine Feldverteilung erhalten, wie sie in der Fig. 1A gezeigt ist.

Das durch die abzweigende Röhre 81 zugeführte Plasmagas 501 wird beim Betrieb der Vorrichtung ionisiert, und es wird in der Entladungsröhre 80 das ringförmige heiße Plasma 701 erzeugt. Wenn zum Beispiel eine Probe analysiert werden soll, wird diese mittels der Vorrichtung 500 über die innere Röhre 82 in den mittleren Teil des Plasmas 701 eingeführt, so daß die Probe nicht in der Umgebung zerstreut wird, sondern die Dissoziation → Anregung → Ionisation wirksam erfolgt. Wenn das dabei entstehende Licht zu dem Spektrometer 180 geführt und die Ionen über ein zwischengeschaltetes Ionensammelsystem (nicht gezeigt) zu dem Massenanalysator 600 oder 170 geführt werden, kann die Probe mit sehr hoher Empfindlichkeit quantitativ analysiert werden, im Vergleich zu dem Fall, bei dem ein Plasma verwendet wird, an das eine Hochfrequenz (z. B. 27 MHz) induktiv angekoppelt wird. Somit kann bei der vorliegenden Ausführungsform sogar eine Probe eines Lösungsmittels direkt analysiert werden, und es können des weiteren organische und ähnliche Proben analysiert werden. Die Art der Probe ist somit nicht besonders eingeschränkt. Als Plasmagas kann He, N<sub>2</sub>, Ar usw. verwendet werden, so daß dieses ebenfalls nicht besonders

eingeschränkt ist.

Die beschriebene Vorrichtung zu Erzeugung eines Plasmas durch Mikrowellen kann bei allen Geräten, die ein Plasma verwenden, Anwendung finden. Das Plasma kann auch impulsartig erzeugt werden.

Da das Plasma und die Oberflächenwellen in dem Zwischenraum d angekoppelt werden, der in dem zylindrischen coaxialen Wellenleiter vorgesehen ist, kann eine große Mikrowellenleistung ohne Verwendung eines Koaxialkabels stabil zugeführt werden. Die Mikrowellenleistung wird dabei von dem Plasma wirkungsvoll absorbiert. Es kann daher ein Plasma mit hoher Temperatur, einer hohen Dichte und einem großen Durchmesser in einem weiten Druckbereich von niedrigen Drücken (etwa  $1,3 \times 10^{-4}$  Pa) bis zu hohen Drücken (Atmosphärendruck) und verschiedenen Arten von Gasen erzeugt werden.

Durch Überlagern eines äußeren Magnetfeldes kann ein Plasma aus verschiedenen Gasen mit einer Dichte erzeugt werden, die gleich der Grenzdichte oder größer ist.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung von Plasma durch Mikrowellen kann bei der Herstellung neuer Materialien, bei der Oberflächenbearbeitung, bei der Veränderung von Oberflächen sowie beim Ätzen und Abscheiden usw. angewendet werden. Das Plasma kann als Ionenquelle oder zum Anregen von Licht bei der Analyse von Elementen usw. Verwendung finden.

äußeres Magnetfeld überlagert werden kann.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung eines Plasmas durch Mikrowellen, umfassend  
einen coaxialen Wellenleiter-Abschnitt mit einem zylindrischen Außenleiter (52) und einem zylindrischen Innenleiter (51),  
einen Rechteck-Hohlleiter (40, 50) zur Zuführung der Mikrowellenenergie an den coaxialen Wellenleiter-Abschnitt,  
eine am Außenleiter (52) angeordnete metallische Endplatte (70), die von einem Ende des Innenleiters (51) durch einen axialen Spalt (d) getrennt ist, in dem von der zugeführten Mikrowellenenergie ein elektrisches Mikrowellenfeld einer Oberflächenwelle erzeugt wird, und  
eine Entladungsröhre (80) im Innern des Innenleiters (51), die sich durch eine Öffnung (72) der Endplatte hindurch erstreckt und in der das Plasma durch das in dem Zwischenraum (d) gebildete elektrische Mikrowellenfeld erzeugt wird,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Rechteck-Hohlleiter (40, 50) zur Einkopplung der Mikrowellenenergie unter Modenumwandlung in den coaxialen Wellenleiter-Abschnitt (51, 52) mit dessen einem Ende verbunden ist, während die metallische Endplatte (70) an dem anderen Ende des coaxialen Wellenleiter-Abschnitts vorgesehen ist, so daß die Mikrowellenenergie an diesem anderen Ende durch den axialen Spalt (d) auf das Plasma übertragen wird.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe des axialen Spalts (d) veränderbar ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch einen Magnetfeldgenerator (90), der um den Bereich des axialen Spalts (d) angeordnet ist, so daß dem elektrischen Mikrowellenfeld ein

## ELEKTRISCHE FELDSTÄRKE

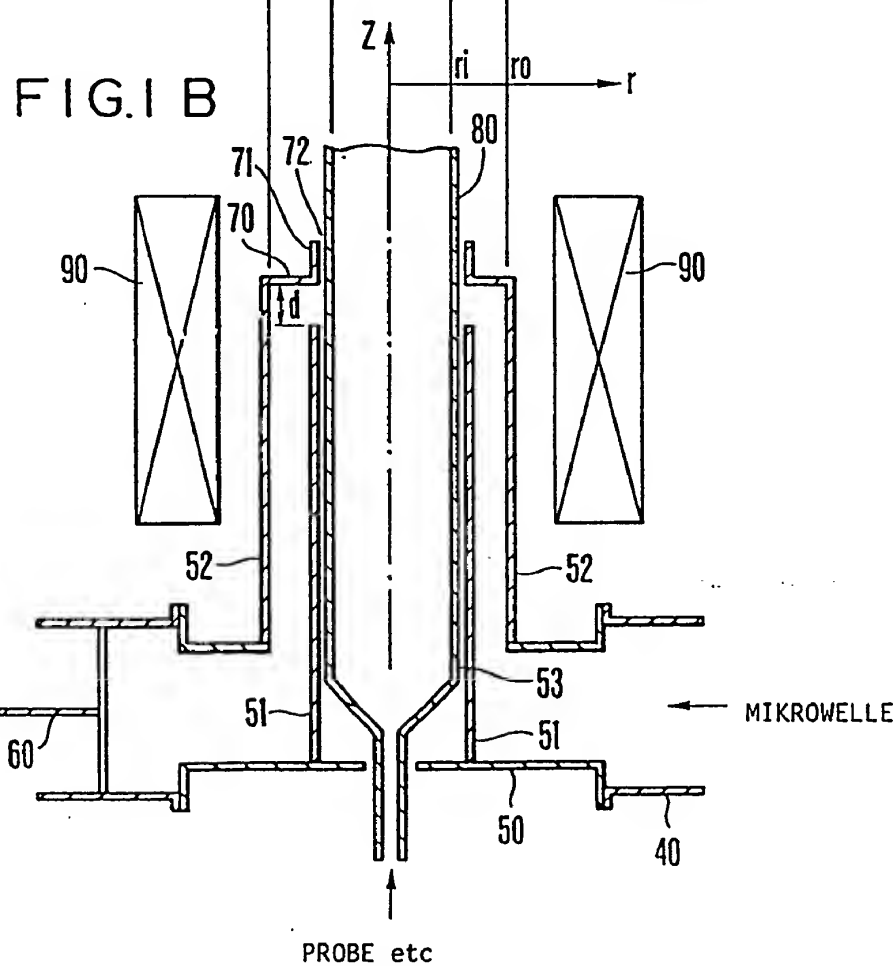
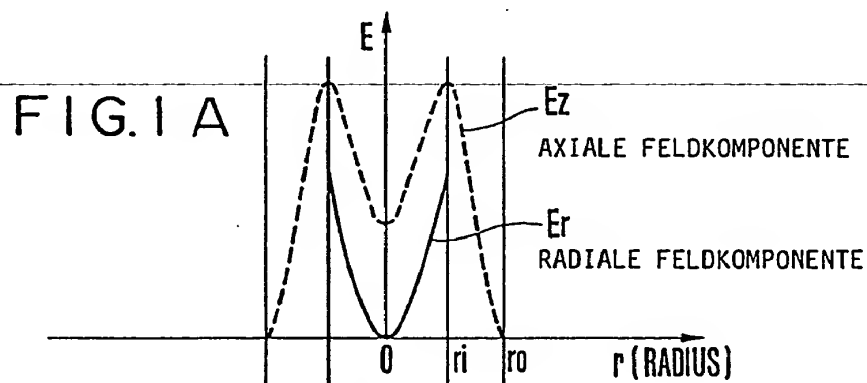
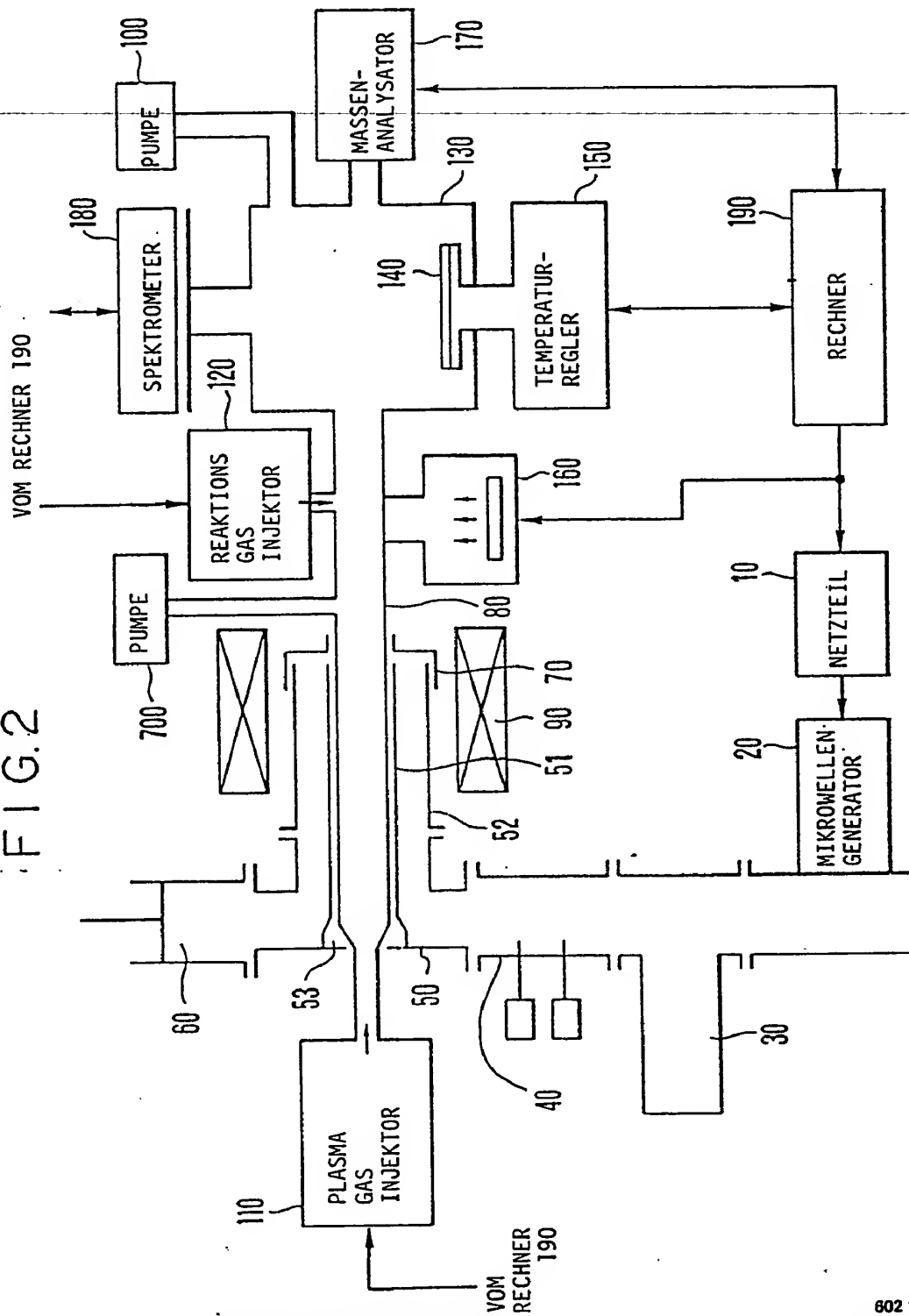


FIG. 2



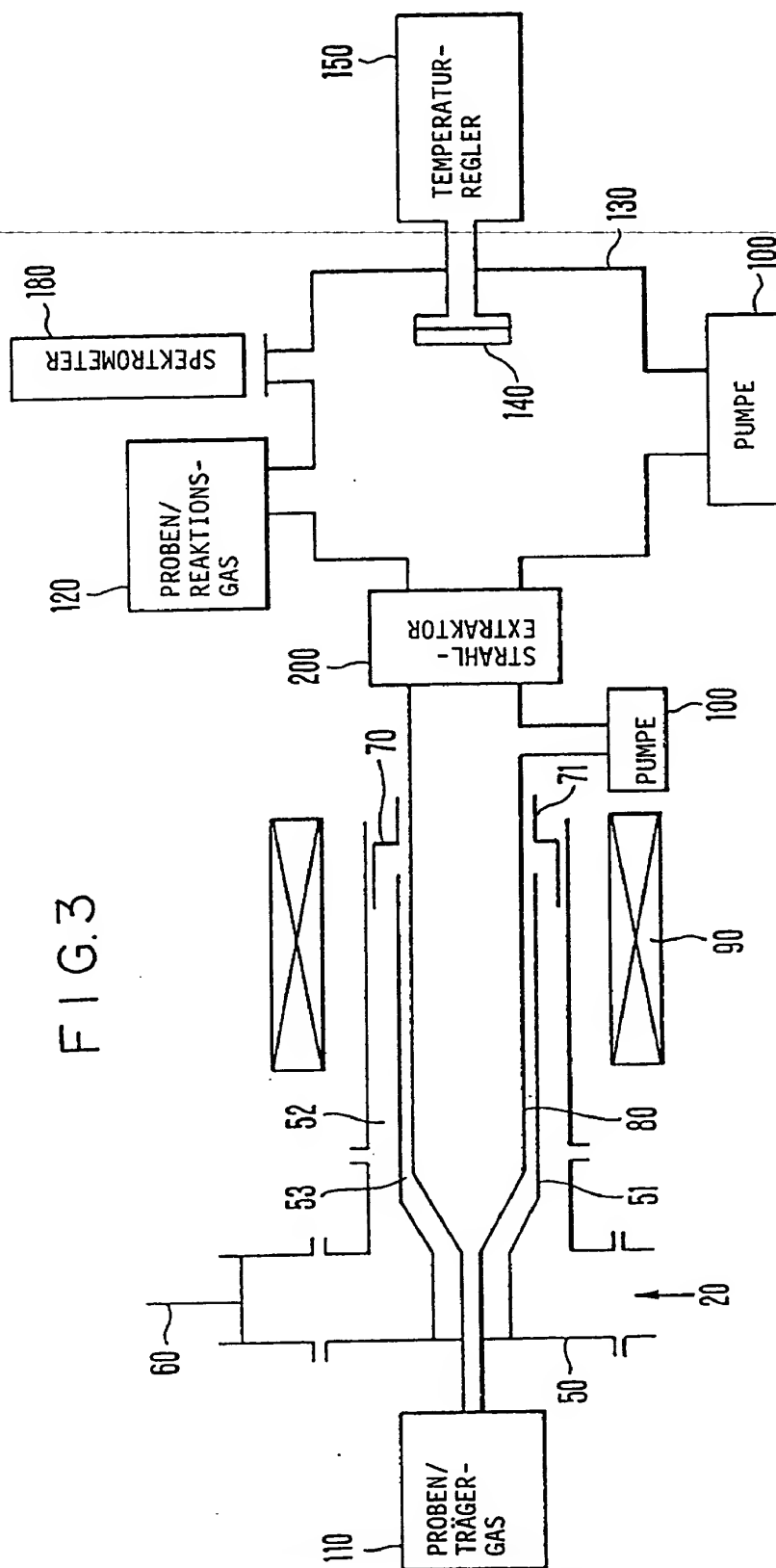


FIG. 3



FIG. 4

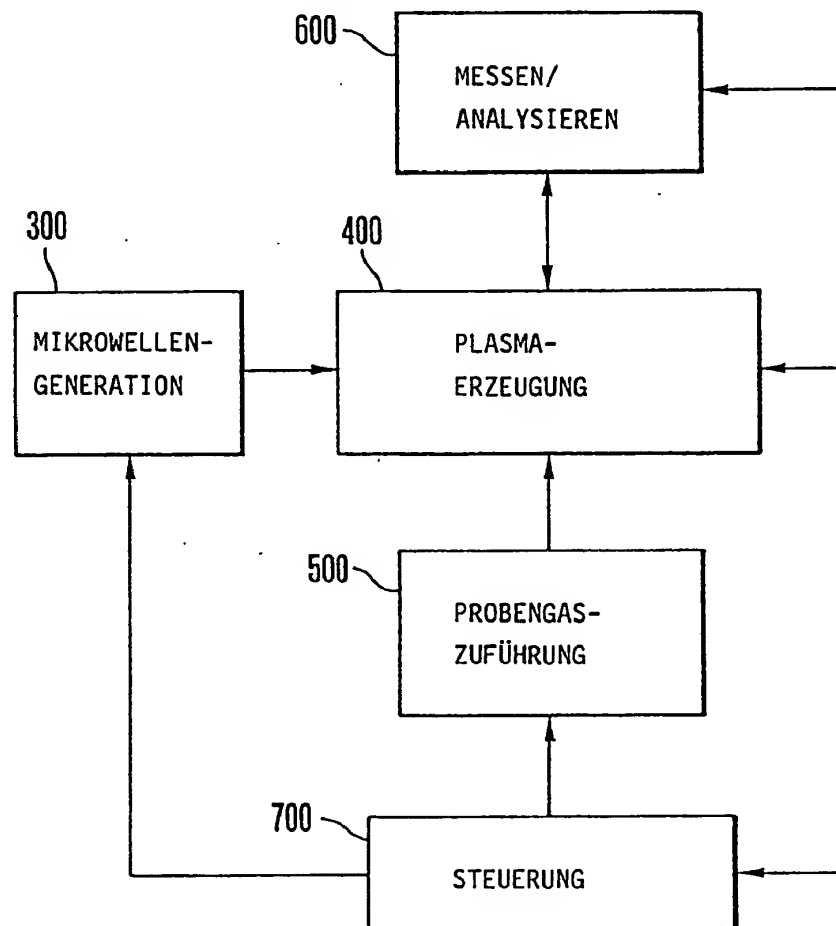


FIG. 5

